

**PENGARUH PENAMBAHAN SERBUK BAN BEKAS UNTUK BAHAN
TAMBAH CAMPURAN ATB (*ASPHALT TREATED BASE*)****Blima Oktaviastuti¹⁾, Handika Setya Wijaya²⁾, Prana Indrawan³⁾**^{1), 2)} *Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tribhuvana Tunggaladewi Malang*³⁾ *Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang**email : blima.oktaviastuti@unitri.ac.id***ABSTRACT**

The growing need of motor vehicles each year must be balanced with the supporting facilities. Roads to support the smooth driving of using motor vehicles, always require maintenance in case of damage. The need for materials for road construction every year will always increase, one of them asphalt needs. Therefore, some alternative waste utilization is needed so that the asphalt needs can be fulfilled. A lot of waste that can be used as a mixture of asphalt, one of which used tires every year is always increasing in number. The objectives of this research are: (1) To know Marshall parameters from 0%, 1.5%, 3%, 4.5%, and 6% of used tire waste, and (2) To know the additional level of waste the best used tires as additives to the ATB mixture are reviewed against stability. This research uses a quantitative method approach with experimental research design. The research design includes several stages: aggregate material, tire powder, and asphalt, then the stage of making the specimens to determine the optimum asphalt content with 4%, 4.5%, 5%, 5.5%, 6 %, 6.5%, after it was found that the optimum bitumen content was then subjected to the manufacture of test specimens with the addition of used tire powder with a range of 0%, 1.5%, 3%, 4.5%, 6% of the weight of the aggregate. The results of the research are: (1) the increasing number of used tire powder tends to decrease the stability value, (2) the addition of the best tire powder is at the tire powder level of 1.5% by obtaining a stability value of 1293 kg.

Keywords: used tire powder, added materials, ATB coating**I. PENDAHULUAN**

Transportasi merupakan salah satu pendukung perkembangan Negara Indonesia sebagai negara yang sedang berkembang. Penyediaan sarana dan prasarana transportasi darat dalam hal ini adalah jalan raya yang sangat dibutuhkan untuk menunjang kemajuan suatu bangsa. Jalan memegang peranan penting dalam kehidupan, oleh karena itu pembangunan dan pemeliharannya harus benar-benar diperhatikan. Pada kenyataannya banyak ditemui jalan-jalan yang kurang memenuhi syarat, rusak karena kurang mampu menahan beban, cuaca, dan lain-lain. Menurut Poltak Situmorang sebagai

Sekretaris Umum LPJK cepat rusaknya jalan raya di Indonesia dinilai akibat rendahnya kualitas bahan. Imams (<http://www.beritasidoarjo.com>, diakses 25 Mei 2017) dalam tulisannya menyoroti tentang kerusakan jalan raya di sekitar Porong, menyatakan bahwa kerusakan jalan diduga karena *sliding* yang disebabkan kurangnya kualitas bahan baku pada saat pengerjaan berlangsung.

Pane dan Gatot, berdasarkan wawancara kepada Drajad Sumarsono sebagai Ketua Gerakan Masyarakat Madani (Gemma) Tangerang, menyimpulkan bahwa proses pengaspalan yang dilakukan oleh kontraktor terkesan asal jadi, berdasarkan kualitas bahan dasar

pengaspalan dan teknik pekerjaan jauh dari harapan yang mengakibatkan banyak titik kerusakan.

Duanto (<http://jambi.tribunnews.com>, diakses 25 Mei 2017) mengutip wawancara Ketua Umum Masyarakat Transportasi Indonesia (MTI) Dr. Ir. Bambang Susantono yang mengatakan bahwa terdapat tiga faktor utama yang menyebabkan kerusakan jalan meliputi mutu pelaksanaan konstruksi jalan, kondisi drainase permukaan jalan dan daerah sekitarnya, dan kelebihan beban pemakaian jalan.

Pada proses perencanaan perkerasan jalan, material-material yang digunakan meliputi aspal, agregat, dan *filler* sebagai bahan pengisi lapisan ATB. Aspal yang baik adalah aspal yang tidak mudah menjadi rapuh dan kehilangan sifat plastisnya akibat perubahan temperatur (Sukirman, 2007: 44). Sifat agregat yang menentukan kualitasnya sebagai material perkerasan jalan adalah gradasi, kebersihan, kekerasan dan ketahanan agregat, bentuk butir, tekstur permukaan, porositas, kemampuan untuk menyerap air, berat jenis, dan daya pelekatan dengan aspal (Sukirman, 2007:5). Bahan pengisi (*filler*) yang memenuhi syarat adalah bahan berbutir halus yang lolos saringan No. 200.

Banyaknya limbah yang belum dimanfaatkan dapat digunakan sebagai alternatif bahan tambahan pada lapisan ATB, salah satunya adalah limbah ban bekas. Di Jerman, lebih dari 600.000 ton ban bekas yang dibuang setiap tahunnya (Lebreton dan Tuma, 2006), dan Amerika pembuangan serupa juga terjadi setiap tahunnya dengan jumlah ban lebih dari 279.000.000 unit (Ko dan Hwang, 2009:162). Sedangkan di Indonesia masih

belum terdata seberapa banyak ban bekas yang dibuang untuk setiap tahunnya. Penggunaan ban di Indonesia terus meningkat dari tahun ke tahun seiring bertambahnya pengguna kendaraan bermotor.

Aziz Pane Ketua Umum Asosiasi Pengusaha Ban Indonesia (APBI) (<http://industri.kontan.co.id>, diakses 25 Mei 2017) menyatakan penjualan ban mobil tahun 2017 akan naik 7%-8% menjadi 77 juta-78 juta unit, sedangkan tahun 2016, APBI memproyeksikan penjualan ban mobil tercapai 72 juta unit yang hanya naik 4%-5% daripada tahun sebelumnya. Hal ini memperkuat kemungkinan bahwa limbah ban yang tidak terpakai tiap tahunnya dapat mengalami peningkatan. Masalah ini semakin kompleks jika tidak segera menemukan solusi, mengingat ban tidak dapat terurai dengan mudah apabila dibiarkan begitu saja.

Pada penelitian ini, peneliti menggunakan serbuk ban bekas sebagai bahan tambahan pada campuran ATB agar menjadi solusi mengatasi limbah ban bekas. Setia (2010) menyimpulkan bahwa komposisi serbuk karet ban bekas mengandung Karbon: 32,19%, Silikat: 1,6%, Sulfur: 2,13%, dan Karet: 64,04%. Subagananta (2012:32) pada penelitiannya menggunakan penambahan serbuk ban bekas yaitu 3,5% dan 4,0% yang masing-masing menghasilkan nilai stabilitas tertinggi yaitu 1576,722 kg dan 1490,813 kg. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa penambahan serbuk ban bekas yang tepat dapat meningkatkan nilai stabilitas, tetapi semakin banyak kadar serbuk ban bekas yang diberikan, nilai stabilitas campuran aspal cenderung menurun.

Beberapa hasil penelitian tersebut dapat digunakan sebagai acuan komposisi

campuran serbuk ban bekas pada perencanaan campuran aspal dengan penambahan serbuk ban bekas. Diharapkan penggunaan serbuk ban bekas bisa digunakan sebagai bahan tambahan pada lapis perkerasan jalan. Penelitian ini menitik beratkan pada optimalisasi penggunaan bahan tambahan pada campuran ATB dengan melakukan beberapa modifikasi pada komposisinya.

Berdasarkan uraian pada latar belakang tersebut, tulisan ini bertujuan: (1) mengetahui parameter Marshall yang ditinjau dari penambahan limbah ban bekas sebesar 0%, 1,5%, 3%, 4,5%, dan 6%, dan (2) mengetahui kadar tambahan limbah ban bekas terbaik sebagai bahan tambahan pada campuran ATB ditinjau terhadap stabilitas.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan metode kuantitatif dengan rancangan penelitian eksperimen.

Bahan-Bahan Penelitian

1. Aspal keras penetrasi 60/70.
2. Agregat kasar, halus.
3. Serbuk ban bekas tertahan saringan No. 30.
4. *Filler*.
5. Bahan-bahan lain yang menunjang penelitian seperti: gas elpiji, minyak tanah, solar, bensin dan oli.

Alat

Alat utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat uji tekan *Marshall* yang terdiri dari :

1. Kepala penekan berbentuk lengkung.
2. Cincin penguji/ proving ring berkapasitas 22,2 KN (5000 lbf dan 10000 lbf) yang dilengkapi dengan

arloji tekan dengan ketelitian 0,0025 cm (0,001 inch).

3. Arloji penunjuk nilai kelelahan.

Pelaksanaan Penelitian

Secara garis besar pelaksanaan penelitian akan diawali oleh studi literatur yang dilanjutkan tahap pemilihan bahan. Pada tahap pemilihan bahan dibagi menjadi 3 bagian, meliputi: (1) agregat; (2) serbuk ban bekas; dan (3) aspal. Jika bahan agregat dan aspal sudah terpenuhi, dilanjutkan pembuatan benda uji *Marshall* tanpa serbuk ban bekas. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kadar aspal optimum sebelum penambahan serbuk ban bekas.

Setelah mengetahui kadar aspal optimum, dilanjutkan membuat benda uji dengan penambahan serbuk ban bekas. Tahapan selanjutnya pengujian benda uji menggunakan alat uji tekan *Marshall*. Agar diagram alir lebih jelas, dapat dilihat pada Gambar 1.

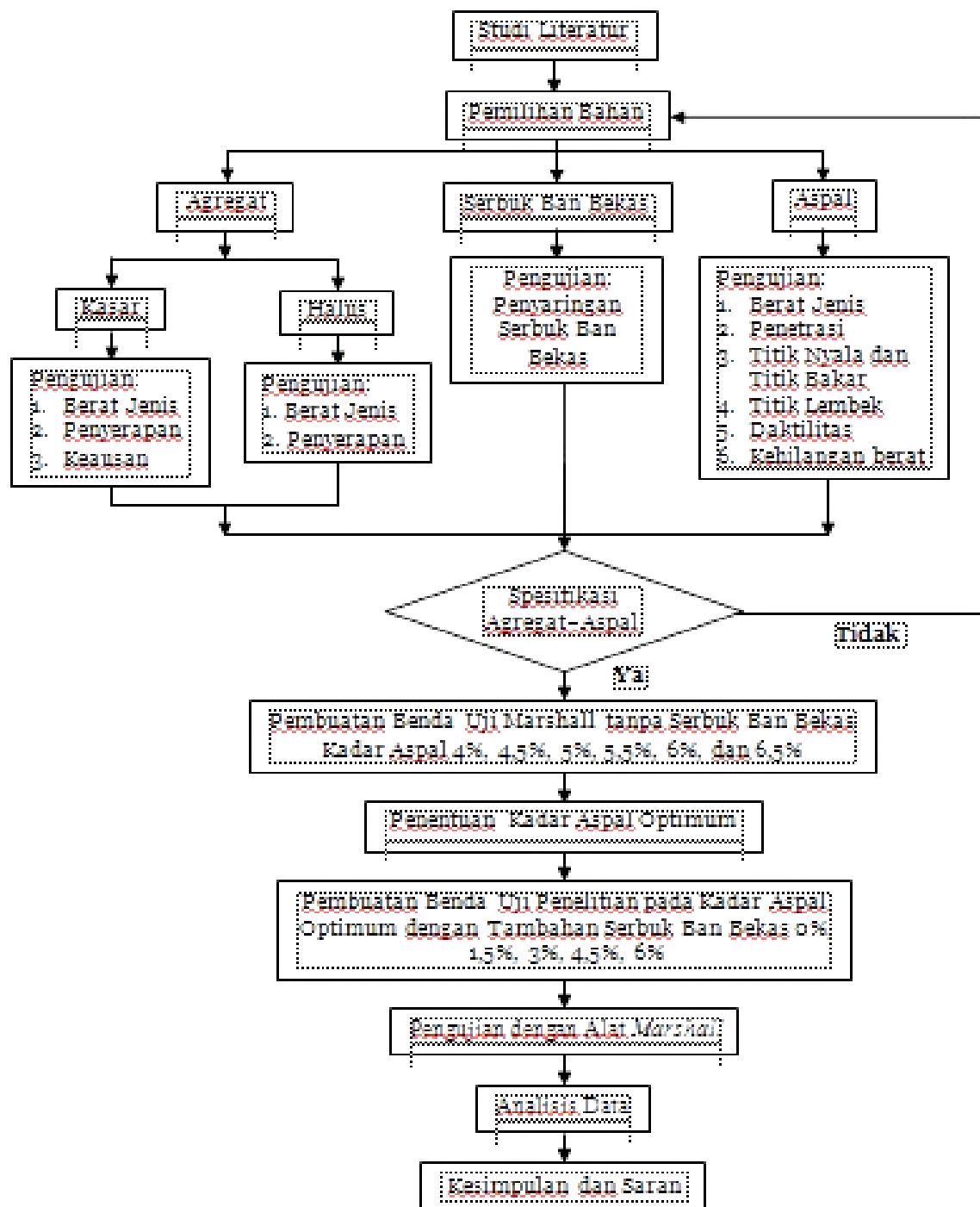
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Agregat

Hasil pengujian agregat kasar dan agregat halus dengan persyaratan sesuai dengan Tata Cara Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (Laston) untuk Jalan Raya (SNI No. 03-1737-1989) dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Agregat

No.	Pengujian	Hasil	Spesifikasi
Agregat Kasar			
1.	Berat Jenis (gr/cm ³)	3,07	Min. 2,5
2.	Penyerapan (%)	2,27	Max. 3
3.	Keausan (%)	34,32	Max. 40
Agregat Halus			
1.	Berat Jenis (gr/cm ³)	2,62	Min. 2,5
2.	Penyerapan (%)	0,82	Max. 3



Gambar 1. Diagram Alir Metode Penelitian

Hasil Pengujian Aspal

Hasil pengujian aspal keras untuk Jalan Raya (SNI No. 03-1737- penetrasi 60/70 sesuai dengan Tata Cara

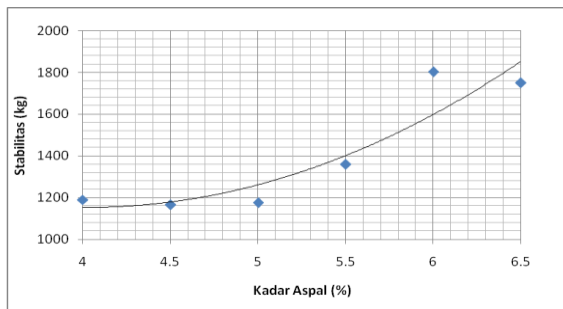
Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (Laston) untuk Jalan Raya (SNI No. 03-1737- 1989) dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Aspal Keras Penetrasi 60/70

No.	Pengujian	Hasil Pengujian	Spesifikasi	
			Min	Max
1.	Berat Jenis (gr/cm^3)	1,03	1	-
2.	Penetrasi (mm)	64	60	79
3.	Penetrasi Setelah Kehilangan Berat (mm)	65,6	54	-
4.	Titik Lembek ($^{\circ}\text{C}$)	54,45	48	58
5.	Titik Lembek Setelah Kehilangan Berat ($^{\circ}\text{C}$)	53,6	48	58
4.	Titik Nyala ($^{\circ}\text{C}$)	300	200	-
5.	Daktilitas (cm)	140	100	-
6.	Daktilitas Setelah Kehilangan Berat (cm)	62,86	50	-
7.	Kehilangan Berat Aspal (%)	0,38	-	0,8

Pengujian *Marshall* Benda Uji Kontrol Stabilitas *Marshall*

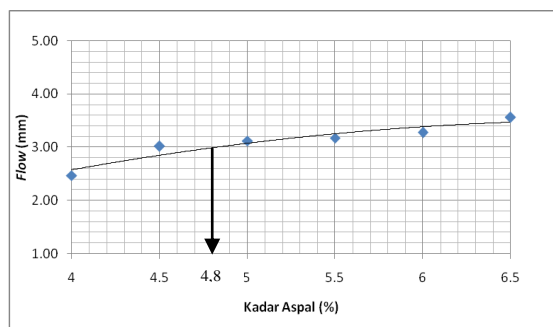
Stabilitas menunjukkan kekuatan maksimum suatu benda uji campuran aspal dalam menahan beban sampai terjadi kelelahan plastis. Hasil stabilitas dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Stabilitas *Marshall* dengan Perbandingan Kadar Aspal

Flow

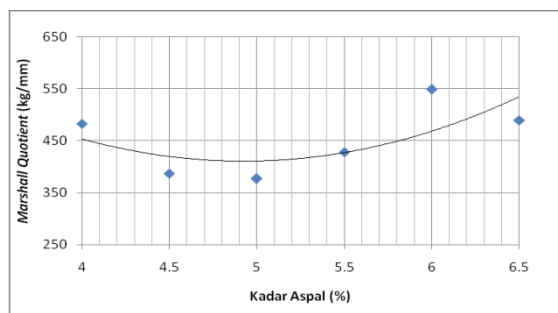
Flow menunjukkan besarnya perubahan bentuk plastis suatu benda uji campuran aspal yang terjadi akibat suatu beban sampai batas keruntuhan. Hasil flow dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik *Flow* dengan Perbandingan Kadar Aspal

Marshall Quotient

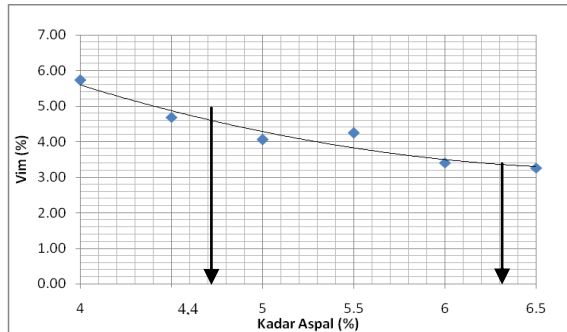
Marshall Quotient merupakan hasil bagi dari harga stabilitas dengan *flow*. dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik MQ dengan Perbandingan Kadar Aspal

Voids in Mix (VIM)

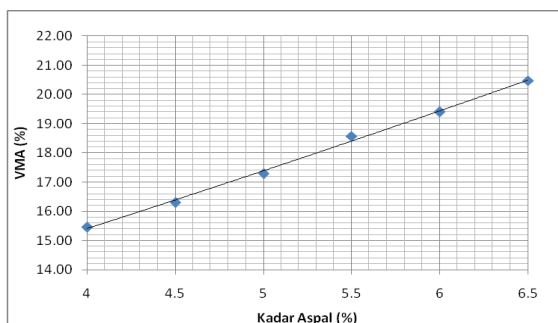
VIM atau rongga dalam campuran merupakan pori-pori udara yang terdapat dalam campuran. Hasil VIM dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik VIM dengan Perbandingan Kadar Aspal

Voids in Mineral Agregate (VMA)

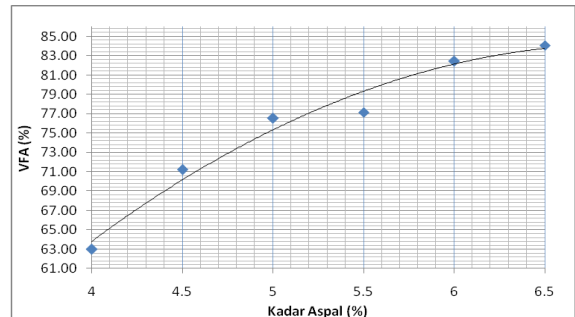
VMA atau rongga dalam agregat merupakan pori-pori udara yang terdapat dalam agregat. Hasil VMA dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik VMA dengan Perbandingan Kadar Aspal

Volume of Void Filled With Ashpalt (VFA)

VFA merupakan volume pori beton aspal padat yang terisi aspal. Hasil VFA dengan perbandingan kadar aspal dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik VFA dengan Perbandingan Kadar Aspal

Penentuan Kadar Aspal Optimum

Kadar aspal optimum diperoleh dengan mengambil beberapa indikator *Marshall* antara lain stabilitas, *flow*, *Marshall Quotient*, VIM, dan VMA yang memenuhi syarat dan diambil nilai yang paling ideal. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, didapatkan nilai kadar aspal optimum $(4,8+6)/2 = 5,4\%$. Hasil pengujian *Marshall* dapat dilihat pada tabel 3 dan gambar 8.

Tabel 3. Hasil Pengujian *Marshall* Benda Uji Kontrol

Parameter Marshall	Satuan	% Kadar Aspal Terhadap Berat Campuran						Spesifikasi	
		4	4,5	5	5,5	6	6,5	Min.	Max.
Stabilitas	kg	1191	1166	1175	1359	1802	1750	800	-
<i>Flow</i>	mm	2,47	3,02	3,12	3,17	3,27	3,56	3	-
<i>Marshall Quotient</i>	kg/mm	483	387	377	429	549	490	250	-
VIM	%	5,72	4,69	4,06	4,25	3,41	3,26	3,5	5
VMA	%	15,46	16,30	17,28	18,58	19,40	20,47	14	-
VFA	%	62,97	71,23	76,53	77,15	82,42	84,06	63	-

Parameter <i>Marshall</i>	Rentang Kadar Aspal Memenuhi Spesifikasi									
Stabilitas										
<i>Flow</i>										
<i>Marshall Quotient</i>										
VIM (%)										
VMA (%)										
VFA										
	4	4,4	4,5	4,8	5	5,4	5,5	6	6,5	

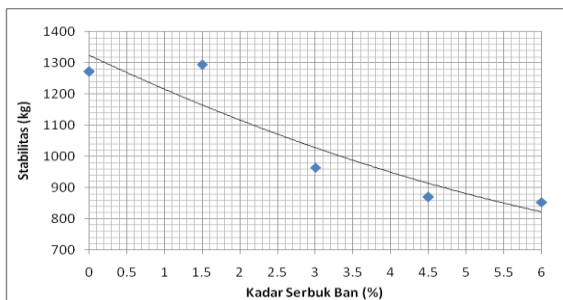
Gambar 8. Grafik Kadar Aspal Optimum

Hasil Pengujian Marshall Benda Uji Penelitian

Serbuk Ban Bekas 0%, 1,5%, 3%, 4,5%, dan 6%

Stabilitas

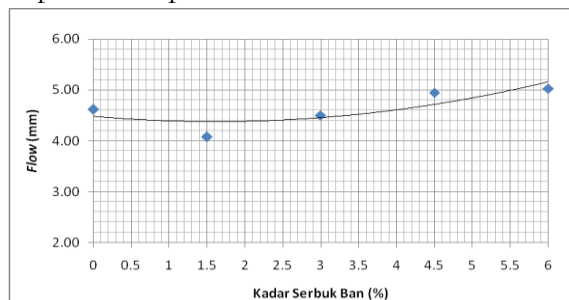
Stabilitas menunjukkan kekuatan maksimum suatu benda uji campuran aspal dalam menahan beban sampai terjadi kelelahan plastis. Hasil stabilitas dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik Stabilitas dengan Perbandingan Kadar Serbuk Ban Bekas

Flow

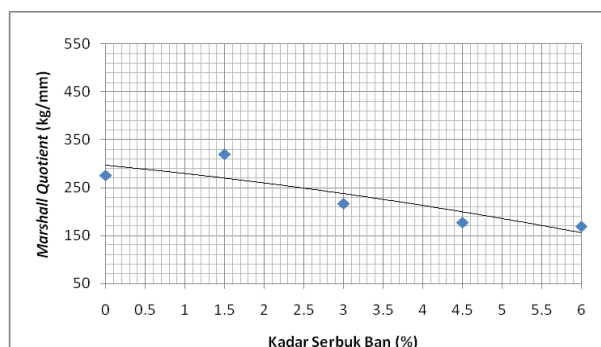
Flow menunjukkan besarnya perubahan bentuk plastis suatu benda uji campuran aspal yang terjadi akibat suatu beban sampai batas keruntuhan. Hasil *flow* dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik *Flow* dengan Perbandingan Kadar Serbuk Ban Bekas

Marshall Quotient

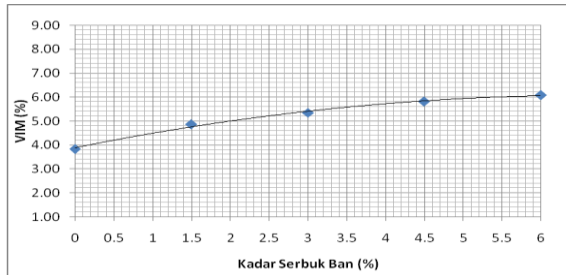
Marshall Quotient merupakan hasil bagi dari harga stabilitas dengan *flow*. Hasil *Marshall Quotient* dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik MQ dengan Perbandingan Kadar Serbuk Ban Bekas

Voids in Mix (VIM)

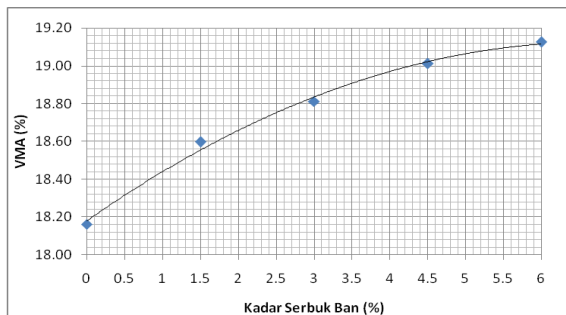
VIM atau rongga dalam campuran merupakan pori-pori udara yang terdapat dalam campuran. Hasil VIM dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Grafik VIM dengan perbandingan kadar serbuk ban bekas

Voids in Mineral Aggregate (VMA)

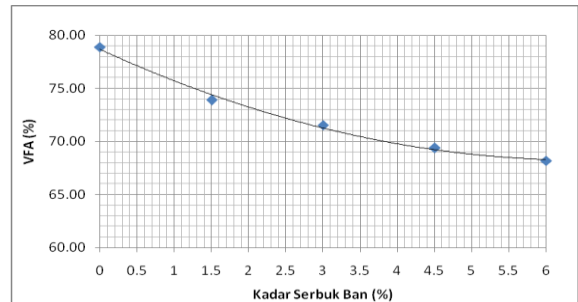
VMA atau rongga dalam agregat merupakan pori-pori udara yang terdapat dalam agregat. Hasil VMA dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Grafik rongga dalam agregat dengan perbandingan kadar serbuk ban bekas

Volume of Void Filled with Asphalt (VFA)

VFA merupakan volume pori beton aspal padat yang terisi aspal. Hasil VFA dengan perbandingan kadar serbuk ban bekas dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Grafik VFA dengan Perbandingan Kadar Serbuk Ban Bekas

Hasil perhitungan dari parameter-parameter Marshall dengan serbuk ban bekas dapat dilihat pada Tabel 4.

Persen Kadar Tambahan Serbuk Ban Bekas Terbaik

Berdasarkan hasil pengujian didapatkan persen kadar tambahan limbah ban bekas terbaik sebagai bahan tambahan pada campuran ATB ditinjau terhadap stabilitas yaitu pada kadar 1,5% dengan nilai stabilitas 1293 kg, flow 4,07 mm, MQ 320 kg/mm, VIM 4,85%, VMA 18,60%, VFA 73,90%.

Tabel 4. Hasil Pengujian Marshall Benda Uji Penambahan Serbuk Ban Bekas

Parameter Marshall	Satuan	% Kadar Serbuk Ban Terhadap Berat Campuran					Spesifikasi	
		0	1,5	3	4,5	6	Min.	Max.
Stabilitas	kg	1272	1293	964	870	853	800	-
Flow	mm	4,62	4,07	4,50	4,95	5,03	3	-
Marshall Quotient	kg/mm	276	320	217	178	170	250	-
VIM	%	3,83	4,85	5,35	5,82	6,08	3,5	5
VMA	%	18,16	18,60	18,81	19,01	19,13	14	-
VFA	%	78,90	71,75	76,53	69,39	68,19	63	-

Penambahan Serbuk Ban Bekas Berdasarkan Parameter *Marshall* Stabilitas

Sukirman (2007:107) stabilitas diperlukan untuk mengukur ketahanan benda uji terhadap beban. Seiring dengan penambahan aspal, nilai stabilitas akan meningkat hingga batas maksimum. Penambahan aspal diatas batas maksimum justru akan menurunkan stabilitas campuran itu sendiri sehingga lapis perkerasan menjadi kaku dan bersifat getas.

Gambar 9 dengan campuran sebesar 0% nilai stabilitas 1272 kg, dengan serbuk ban 1,5% mengalami kenaikan nilai stabilitas yaitu 1293 kg, setelah itu mengalami penurunan pada kadar serbuk ban 3% sampai kadar 6%. Dari semua kadar penambahan serbuk ban bekas telah memenuhi spesifikasi Campuran Beraspal Panas (Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Divisi 6) yaitu minimal 800 kg.

Bahar dan Lestari (2015:7) campuran dengan variasi serbuk ban bekas tidak ada kenaikan yang cukup berarti. Hal ini disebabkan serbuk ban bekas bersifat kohesi, sehingga bidang kontak agregat meningkat pada beton aspal campuran panas. Selain itu, jumlah aspal yang terserap dan menyelimuti agregat semakin sedikit, sehingga menurunkan nilai stabilitas.

Penelitian Tristanto dan Abadi (2011:113) hasil penelitian menunjukkan dengan penambahan limbah karet ban luar pada campuran lapis tipis aspal pasir (latasir) kelas b, menunjukkan bertambahnya nilai stabilitas. Pada kadar aspal optimum (8,2%) dengan penambahan kadar ban karet 1% stabilitas 1050 kg, kadar ban karet 2%

stabilitas 1100 kg, kemudian terjadi penurunan stabilitas pada kadar 3%-6%.

Flow

Sukirman (2007:107) yang dimaksud *flow* adalah keadaan perubahan bentuk suatu campuran aspal yang terjadi akibat suatu beban batas runtuh. Suatu campuran dengan *flow*nya yang tinggi, melampaui batas maksimum maka campuran cenderung menjadi plastis, sehingga mudah berubah bentuk jika terlalu banyak menerima beban. Sebaliknya bila nilai *flow*nya rendah, maka campuran menjadi kaku dan mudah retak jika beban melampaui daya dukungnya.

Gambar 10 terlihat semakin banyak kadar serbuk ban nilai *flow* menunjukkan penurunan mulai dari 0% sampai 1,5%, kemudian pada kadar serbuk ban 3% sampai 6% nilai *flow* mengalami peningkatan. Dari semua kadar penambahan serbuk ban bekas telah memenuhi spesifikasi Campuran Beraspal Panas (Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Divisi 6) yaitu minimal 3 mm.

Penelitian Sugiyanto (2008:101), pengujian Marshall dengan 50% serbuk ban bekas sebagai pengganti agregat pada fraksi nomor 50 pada campuran *hot rolled asphalt*, diperoleh nilai kelelahan terpenuhi pada kadar aspal 6% sampai 7,60%. Nilainya semakin besar seiring dengan bertambahnya kadar aspal tetapi masih memenuhi kriteria yang disyaratkan oleh Bina Marga yaitu antara 2-4 mm.

Fithra (2011:153) nilai *flow* berdasarkan spesifikasi Depkimpraswil (2002) minimum adalah sebesar 2 mm. Kadar aspal 5,5% dan kadar serbuk ban bekas 50% sebagai pengganti agregat halus menunjukkan nilai *flow* tertinggi yaitu sebesar 4,3 mm. Hal ini disebabkan serbuk ban bekas berfungsi sebagai

pelican yang membuat campuran lebih kuat tidak cepat leleh, yang menaikkan nilai *flow*.

MQ

Sukirman (2007:102) MQ adalah perbandingan antara nilai stabilitas dan *flow*. Nilai MQ akan memberikan nilai fleksibilitas pada campuran. Semakin besar nilai MQ berarti campuran semakin kaku, sebaliknya bila semakin kecil nilainya maka campuran semakin lentur.

Pada nilai MQ pada Gambar 11 dapat dilihat bahwa semakin banyak penambahan serbuk ban yang digunakan maka nilai MQ cenderung semakin menurun dan nilai MQ terendah yaitu pada kadar serbuk ban 6% sebesar 170 kg/mm. Dari semua kadar penambahan, kadar serbuk ban 3%, 4,5%, dan 6% tidak memenuhi spesifikasi Campuran Beraspal Panas (Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Divisi 6) yaitu minimal 250 kg/mm.

Penelitian Bahar dan Lestari (2015:8) pengaruh penambahan 50% serbuk ban bekas pada substitusi agregat nomor saringan 50 meningkat nilai *flow* dan menurunkan nilai MQ. Artinya serbuk ban bekas yang ada berfungsi sebagai pelicin yang membuat campuran lebih kuat (lebih lentur) dan tahan terhadap retak leleh.

VIM

Sukirman (2007:102) VIM dibutuhkan untuk tempat bergesernya butir-butir agregat, akibat pemadatan tambahan yang terjadi oleh repetisi beban lalu lintas, atau tempat jika aspal menjadi lunak akibat meningkatnya temperatur.

Nilai VIM pada Gambar 12 menunjukkan bahwa nilai VIM cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya kadar serbuk ban. Nilai

VIM tertinggi yaitu pada kadar serbuk ban 6% yaitu sebesar 6,08%. Dari semua kadar penambahan, kadar serbuk ban 3%, 4,5%, dan 6% tidak memenuhi spesifikasi Campuran Beraspal Panas (Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Divisi 6) yaitu minimal 3,5% dan maksimal 5%.

Bahar dan Lestari (2014:5) serbuk ban bekas menjadi pengganti agregat fraksi No.50 pada campuran lapis aus AC-WC terjadi kenaikan nilai VIM pada setiap penambahan kadar serbuk ban. Penambahan serbuk ban 0% nilai VIM 2,5%, penambahan serbuk ban 25% nilai VIM 2,6%, penambahan serbuk ban 50% nilai VIM 2,75%.

Fithra (2002:151) VIM yang dibutuhkan untuk tempat bergesernya butir-butir agregat akibat pemadatan tambahan yang terjadi oleh repetisi beban lalu lintas, atau tempat aspal jika aspal menjadi lunak akibat meningkatnya temperatur, tetapi pada kondisi campuran AC-BC dengan serbuk ban bekas akan mengakibatkan beton aspal berkurang kekedapan airnya (bersifat *porous*), sehingga air dan udara mudah memasuki rongga-rongga dalam campuran yang menyebabkan mudah teroksidasi dan akan mengurangi keawetannya atau berakibat meningkatnya proses oksidasi aspal yang dapat mempercepat penuaan aspal dan menurunkan sifat durabilitas.

VMA

Sukirman (2007:85) volume pori dalam agregat campuran VMA adalah banyaknya pori di antara butir-butir agregat di dalam aspal beton padat, dinyatakan dalam persentase.

Nilai VMA pada Gambar 13 penambahan serbuk ban cenderung mengalami kenaikan pada setiap penambahan kadar serbuk ban, seperti

pada Gambar 4.12, dan nilai VMA tertinggi yaitu pada kadar serbuk ban 6% dengan nilai VMA 19,13% yang terendah yaitu pada kadar serbuk ban 0% dengan nilai VMA 18,16%. Dari semua kadar penambahan serbuk ban bekas telah memenuhi spesifikasi Campuran Beraspal Panas (Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Divisi 6) yaitu minimal 14%.

Faisal, Shaleh, dan Isya (2014:44) menunjukkan semakin meningkatnya jumlah persentase parutan ban dalam bekas kendaraan roda empat dari 0% sampai 5%, maka nilai VMA atau rongga antar butir agregat campuran aspal beton AC-BC semakin meningkat, karena semakin banyak aspal dengan tambahan bahan aditif parutan ban dalam bekas kendaraan roda empat yang menyelimuti butir agregat, sehingga membentuk selimut butir agregat yang tebal.

Fithra (2002:151) nilai VMA pada campuran aspal panas akan terus naik seiring bertambahnya kadar serbuk ban bekas, hal ini disebabkan serbuk ban karet yang elastis dan kenyal tidak dapat mendesak masuk diantara pori-pori yang ditinggalkan oleh ikatan antar agregat. Semakin banyak kadar serbuk ban bekas akan semakin banyak rongga yang ada pada campuran aspal panas tersebut.

VFA

Sukirman (2007:89) VFA adalah banyaknya pori-pori antara butir agregat didalam beton aspal padat yang terisi oleh aspal. VFA adalah bagian dari VMA yang terisi oleh aspal, tidak termasuk di dalamnya aspal yang terabsorpsi oleh masing-masing agregat. Dengan demikian aspal yang mengisi VFA inilah yang merupakan persentase volume beton aspal padat yang menjadi film atau selimut aspal.

Nilai VFA pada Gambar 14 dapat dilihat bahwa nilai VFA semakin menurun seiring dengan penambahan kadar serbuk ban dan nilai VFA yang paling rendah yaitu pada kadar serbuk ban 6% sebesar 68,19%, dan nilai yang terbesar yaitu pada kadar serbuk ban 0% sebesar 8,90%. Dari semua kadar penambahan serbuk ban bekas telah memenuhi spesifikasi Campuran Beraspal Panas (Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Divisi 6) yaitu minimal 63%.

Penelitian Bahar dan Lestari (2015:6) serbuk ban bekas menjadi pengganti agregat fraksi nomor 50 pada campuran lapis aus AC-WC, nilai VMA yang besar tidak otomatis akan mengakibatkan nilai VFA yang besar, malah mengakibatkan turunnya aspal yang mengisi rongga-rongga yang ada dan penambahan serbuk ban bekas mengakibatkan nilai VFA turun pada tambahan serbuk ban bekas 25% yaitu sebesar 65%, namun nilai VFA variasi serbuk ban bekas masih memenuhi spesifikasi.

Berdasarkan penelitian Fithra (2002:152) VMA yang besar tidak otomatis akan mengakibatkan nilai VFA yang besar. Nilai VMA 16,71%-19,42% tidak mengakibatkan naiknya nilai VFA, malah mengakibatkan turunnya aspal yang mengisi rongga-rongga yang ada. Hal ini dikarenakan sifat serbuk ban karet yang seperti aspal, sehingga rongga-rongga yang terisi oleh serbuk ban bekas tidak akan terisi oleh aspal.

Kadar Penambahan Serbuk Ban Bekas Terbaik ditinjau Terhadap Stabilitas

Campuran serbuk ban bekas sebesar 0% nilai stabilitas 1272 kg, pada kadar serbuk ban 1,5% mengalami

kenaikan nilai stabilitas yaitu 1293 kg, setelah itu mengalami penurunan pada kadar serbuk ban 3%, 4,5%, dan 6%, masing-masing menghasilkan nilai stabilitas sebesar 964 kg, 870 kg, dan 853 kg. Nilai flow pada kadar penambahan serbuk ban 1,5% adalah sebesar 4,07 mm, MQ sebesar 320 kg/mm, VIM sebesar 4,85%, VMA sebesar 18,60%, dan VFA sebesar 73,90%. Nilai-nilai tersebut telah memenuhi spesifikasi Campuran Beraspal Panas (Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Divisi 6).

IV. KESIMPULAN

Setelah dilakukan pengujian *Marshall* untuk campuran aspal tanpa serbuk ban bekas dan campuran aspal dengan tambahan serbuk ban bekas dengan kadar 0%, 1,5%, 3%, 4,5%, dan 6% dari berat agregat, maka dapat diambil kesimpulan antara lain sebagai berikut:

1. Semakin banyak penambahan serbuk ban bekas cenderung menurunkan nilai stabilitas. Nilai *flow* naik seiring dengan penambahan serbuk ban bekas, *flow* tertinggi pada kadar 6%. Nilai MQ cenderung turun seiring penambahan serbuk ban bekas, MQ terendah pada kadar serbuk ban 6%. Nilai VIM tertinggi pada kadar serbuk ban 6%, semakin banyak kadar penambahan serbuk ban bekas, semakin naik pula nilai VIM. Nilai VMA terendah yaitu pada kadar serbuk ban 0% dan nilai VMA tertinggi pada kadar serbuk ban 6%. Nilai VFA semakin menurun seiring dengan penambahan serbuk ban dan nilai VFA terendah pada kadar serbuk ban 6%.

2. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, penambahan serbuk ban terbaik berada pada kadar 1,5% dengan nilai stabilitas sebesar 1293 kg.

V. DAFTAR PUSTAKA

- Bahar, T. & Lestari, S. P. 2015. *Optimalisasi Kinerja Aspal BNA Blend 75:25 Terhadap Campuran Aspal Beton Menggunakan Variasi Serbuk Ban Bekas*. Makalah disajikan pada Forum Studi Transportasi antar Perguruan Tinggi (FSTPT), Bandar Lampung, 28 Agustus 2015. (Online), <http://eng.unila.ac.id>, diakses 12 Mei 2017).
- Bukit, N & Frida, E. 2011. Pengolahan Ban Bekas Berwawasan Lingkungan menjadi Bahan Bamber pada Otomotif. Medan: *Jurnal Teknologi Indonesia*, 34: 123-124.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1983. *Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton Pondasi Atas (Laston Atas) No. 03/PT/B/1983*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1989. *Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (Laston) untuk Jalan Raya/SNI No. 1737-1989-F*. Jakarta: Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2010. *Campuran Beraspal Panas Divisi 6*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Duanto. 2016. Terpuruk di Jalan Baru, (Online), <http://jambi.tribunnews.com>, diakses 25 Mei 2017.
- Faisal, Shaleh, S. M. & Isya, M. 2014. Karakteristik Marshall Campuran

- Aspal Beton AC-BC Menggunakan Material Agregat Basalt dengan Aspal Pen. 60/70 dan Tambahan Parutan Ban Dalam Kendaraan Roda 4. *Jurnal teknik Sipil*, 3(3): 38-48.
- Fithra, H. 2011. Karakteristik Penggunaan Serbuk Ban Bekas pada Campuran Panas Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC). *Teras Jurnal*, 1(2): (151-153).
- Hardum, Saprianus Edi. 2014. LPJK Minta Kemen PU Tingkatkan Pengawasan Bangun Jalan Pantura, (Online), <http://www.beritasatu.com>, diakses 25 Mei 2017.
- Imams. 2013. Jalan Raya Porong-Krembung Sepanjang 4 Kilometer Penuh Dengan Lobang, (Online), <http://www.beritasidoarjo.com>, diakses 25 Mei 2017.
- Ko, Y. & Hwang, H. 2009. Efficient Operation Policy in Closed-Loop Tyre Manufacturing System with EPR. *Journal of IEMS*, 8(3): (162-170).
- Lebreton, B. & Tuma, A. 2006. A Quantitative approach to assessing the profitability of car and truck tire remanufacturing. *International Journal Of Production Economics*, (Online), (2): 639-652, <http://www.sciencedirect.com>, diakses, 17 Mei 2017.
- Leksminingsih. 2005. Pengaruh Penambahan Katalis Bekas (Spent Catalyst) Terhadap Kinerja Campuran Beraspal. *Koleksi Perpustakaan Pusjatan*, (Online), <http://www.lontar.ui.ac.id>, diakses 9 Mei 2017.
- Mashuri & Batti, J. F. 2011. Pemanfaatan Material Limbah pada Campuran Beton Aspal Campuran Panas. *Majalah Ilmu Mektek*. (3): 204-212.
- Mc.Donald & Morris. 1976. *Asphalt-Rubber Stress Absorbing Membranes*. Phoenix, Arizona: Gene R. Morris Engineer of Research Arizona Department of Transportation. Arizona.
- Pane dan Gatot. 2013. Belum 2 Bulan Diperbaiki, Jalan Raya Serpong Bergelombang dan Berlubang Lagi, (Online), <http://satelitnews.co.id>, diakses 25 Mei 2017.
- Rafael, Eldo C. dan Wikanto, Adi. 2017. Penjualan ban 2017 bisa naik hingga 8%, (Online), <http://industri.kontan.co.id>, diakses 25 Mei 2017.
- Robert, F & Lytton. 1987. *FAA Mixture Design Procedure For Asphalt- Rubber Concrete*. Alabama: National Center for Asphalt Technology Auburn University Auburn. Alabama.
- SNI 03-1737-1989, Tata Cara Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (*Laston*) untuk Jalan Raya.
- SNI 03-1968-1990, Pengujian Berat Jenis dan penyerapan Agregat Halus.
- SNI 03-1969-1990, Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar.
- SNI 03-2417-1991, Pengujian Keausan agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles.
- SNI 03-6388-2000, Spesifikasi Agregat Lapis Pondasi Bawah, Lapis Pondasi Atas dan Lapis Permukaan.
- SNI 06-2432-1991, Pengujian Daktilitas Aspal.

- SNI 06-2433-1991, Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar.
- SNI 06-2434-1991, Pengujian Titik Lembek Aspal.
- SNI 06-2441-1991, Pengujian Berat Jenis Aspal.
- SNI 06-2456-1991, Pengujian Penetrasi Aspal.
- Subagananta, B. 2012. Pengaruh Penambahan Serbuk Ban Bekas Terhadap Kinerja Campuran Aspal Panas Jenis Hot Rolled Sheet (HRS). *Jurnal Penelitian Dosen Fakultas Teknik Universitas Darwan Ali*. 2(1): 7-34.
- Sugiyanto, G. 2008. Kajian Karakteristik Campuran Hot Rolled Asphalt Akibat Penambahan Limbah Serbuk Ban Bekas. *Jurnal Teknik Sipil*, 8(2): 91-104.
- Sukirman, S. 1992. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung: Nova.
- Sukirman, S. 2007. *Beton Aspal Campuran Panas*. Jakarta: Yayasan Obor Indonesia.
- Tjangroe & Parung, H. 2006. Pecahan Marmer Sebagai Pengganti Agregat Kasar Self Compacting Concrete (SCC). *Jurnal Desain dan Konstruksi*, 5(1).
- Tristanto, A. B. & Abadi, K. Pengaruh Penambahan Limbah Karet Ban Luar Terhadap Karakteristik Marshall Pada Lapis Lapis Tipis Aspal Pasir (Latasir) Kelas B. *Jurnal Media Teknik Sipil*, 9(2): 107-115.